

INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO Y PROCESO SOBRE EL ANCHO Y LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA TEJIDA

F. Parés*, R. Comas** y X. Capdevila***

0.1. Resumen

El proceso de tisaje genera unas contracciones en las estructuras tejidas, y estas estructuras tienen unas resistencias que dependen principalmente, y para unos hilados determinados, de unos parámetros geométricos (parámetros relacionados con la geometría de la estructura).

En este trabajo se estudia la influencia del coeficiente de ligadura por trama, densidad de trama y, también, de la tensión de la urdimbre en el tisaje sobre el ancho del tejido resultante (y por lo tanto la contracción respecto al ancho de trabajo en el peine del telar) y sus resistencias, de urdimbre y trama.

En este trabajo se establecen los modelos de regresión de las resistencias sobre los parámetros indicados; atendiendo a la información obtenida se propone unos niveles óptimos para obtener unas resistencias máximas.

Palabras clave: tejido, coeficiente de ligadura, densidad trama, tensión, contracción, resistencia.

0.2. Summary: INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF DESIGN AND PROCESS ON THE WIDTH AND TENSILE STRENGTH OF THE WOVEN STRUCTURE

The weaving process generates contractions in the woven structures, and these structures have resistances that depend mainly, and for some specific yarns, of several geometric parameters (parameters related with the geometry of the structure).

The present work studies the influence of the interlacing, filling density and, also, of the tension of the warp in the weaving on the width of the fabric (and therefore the contraction regarding the work width in the comb of the loom) and its tensile strength, of warp and weft.

In this work, linear models predicting tensile strength response were established; on the basis of the data obtained it's proposed some good levels to find the maximum tensile strength.

Key words: fabric, interlacing, filling density, tension, contraction, tensile strength.

0.3. Résumé: INFLUENCE DE PLUSIEURS PARAMÈTRES DE DESSIN ET PROCÈS SUR LE LARGUEUR ET LA RÉSISTANCE DU STRUCTURE TISSÉE

Le processus de tissage crée des contractions dans les structures textiles qui ont une certaine résistance qui dépend principalement, et pour quelques fils donnés, des paramètres géométriques de celles-ci.

Cette étude se pendre sur l'influence du coefficient du liaison sens trame, sur la densité de trame et, également, sur la tension de la chaîne en tissage sur le largeur du tissu (et par conséquence, la contraction du tissu sur le largeur du peigne au travail) et sa résistance, en sens chaîne et trame.

Cette étude établie les modèles de régression de résistance à la traction sur les paramètres indiqués; compte tenu de l'information obtenue, il est proposé quelques bons niveaux obtenir résistances maximales.

Mots clés: tissu, coefficient du liaison, densité de trame, tension, contraction, résistance.

1. INTRODUCCIÓN

En el análisis de tejidos deben tenerse en cuenta tres clases de contracción: la debida al ligamento, que es común a todos los tejidos, la debida al encogimiento natural que experimentan los tejidos al ser mojados y el encogimiento que se produce, de forma natural ó forzada, al ser sometidos a los diversos procesos de aprestos y acabados. En este trabajo nos referimos al primero.

La contracción debida al ligamento depende, principalmente, de las ondulaciones que efectúan los hilos al entrecruzarse, de la densidad y del título de los hilos. Estas ondulaciones dependen de la disposición del entrecruzamiento de los hilos de urdimbre y trama – el ligamento – y de las tensiones de los mismos. El valor de este entrecruzamiento viene dado por el denominado coeficiente de ligadura, que se calcula mediante la

* Ing. Industrial Ferran Parés, P.A.S. y Doctorando del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.)

** Ing. Industrial Ramón Comas, Profesor Titular de Escuela Universitaria del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.)

*** Dr. Ing. Xavier Capdevila, Profesor Titular de Universidad del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.)

relación entre el número de puntos de inflexión producidos por los hilos cuando pasan del haz al envés en el curso y el curso del ligamento (mínimo número de hilos de urdimbre y trama para representar el ligamento). Y, evidentemente, cada ligamento tendrá dos coeficientes, uno referido a la urdimbre y otra referida a la trama.

Teniendo en cuenta lo mencionado, los tejidos – fuera del telar, y después de 24 horas de reposo y retirado del plegador – presentan distintos anchos en función del porcentaje de contracción respecto al ancho de la urdimbre en el peine.

Por otra parte, la resistencia mecánica es la propiedad funcional más importante de la estructura tejida: la resistencia y el alargamiento a la ruptura por tracción son ampliamente utilizados para el control de la calidad.

Cuando el tejido es estirado en una dirección bajo el efecto de una carga, primero la ondulación disminuye en dicha dirección (y el tejido es relativamente fácil extenderlo mientras disminuye la ondulación), luego los hilos de la estructura empiezan el aguante del esfuerzo y se reduce el alargamiento relativo de la estructura. Los hilos de urdimbre y de trama ejercen fuerzas entre sí en los puntos de ligadura.

El objetivo principal de este trabajo es determinar –para ligamentos simples– la influencia del coeficiente de ligadura por trama, la densidad de trama y la tensión de los hilos de urdimbre en el proceso sobre el ancho del tejido resultante del telar y su resistencia a la tracción.

Los conocimientos que se disponen están basados en la práctica industrial, algunas veces inexactos y muchas otras sin considerar la interacción entre los parámetros. Por lo tanto, el trabajo pretende profundizar, con metodología científica, en los efectos que producen los parámetros citados en las respuestas analizadas.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Materiales

Los hilos de urdimbre y trama empleados son 100% de algodón de número catalán 30 2/c (tex 37,7), torsión z con 600 v/m y retorsión S con 300 v/m, obtenidos por hilatura convencional de anillos y destinados a la tapicería.

2.2. Maquinaria

Se utilizó la máquina de tejer neumática del tipo AS, modelo LWV de la casa Dornier con un ancho de peine de 190 centímetros y equipada con un jacquard electrónico, modelo LX 1600, de la casa Stäubli con una montura de 6480 arcadas. La velocidad de tisaje fue de 600 r.p.m.

Esta máquina está ubicada en el taller de tisaje del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera.

2.3. Aparatos

Se utilizó el dinamómetro de la casa MTS modelo synergie con una capacidad de 2 kN y un recorrido de 750 mm instalado en el Laboratorio de Física Textil del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera.

2.4. Tratamientos

Se planteó un diseño factorial 4x3x2 de efectos fijos, con dos réplicas, aleatorizando los 48 tratamientos determinados con los siguientes niveles:

Coeficiente de ligadura por trama: 0,25 0,5 0,75
 Densidad por trama (pasadas/cm): 10 14 18
 Tensión urdimbre (cN): 50 65

Las repeticiones corresponden a ligamentos distintos (los ligamentos escogidos son los que se indican en la tabla 1) -excepto el tafetán, que es el único con coeficiente unitario- y se analizan como factores de bloques.

Se tejieron muestras de 2,5 m para cada combinación experimental teniendo en cuenta que un metro será para la confección de las probetas que se necesitan de acuerdo con las normas y el resto para la transición de un ensayo a otro.

Las repuestas medidas son el ancho del tejido, según norma UNE-EN 1773, y la resistencia a la tracción, en sentido de la urdimbre y en el sentido de la trama, según la Norma UNE-EN ISO 13934-1.

TABLA 1

Coeficientes de ligadura por trama de los ligamentos tejidos

Repeticiones	1º	2º
Coeficientes		
0,25	Raso de ocho 5e3 b 1, 7	Sarga de ocho 7e1 b 1, 7
0,5	Esterilla bu 2, 2 bt 2, 2	Sarga batavia 3e2 b 2, 2
0,75	Derivado de la sarga 3e1 b 3,1 en pasadas impares b 1,3 en pasadas pares	Sarga satina dos direcciones 4p e2, 1, 2, -1 b 2, 2
1	Tafetán 1e1	Tafetán 1e1

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Ancho

La figura 1 muestra los anchos medios obtenidos en función de los factores. Se observa que el coeficiente manifiesta un fuerte efecto sobre el ancho, la densidad afecta ligeramente el ancho y la tensión no afecta al ancho.

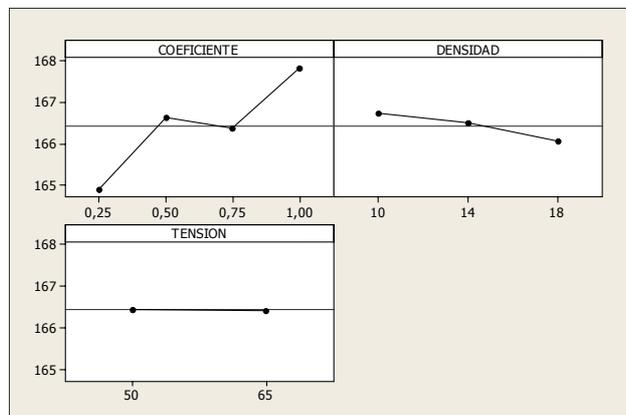


FIGURA 1: Influencia de los factores de estudio sobre el ancho de los tejidos en cm

En la tabla 2 se expone la mejor tabla del análisis de la varianza de los anchos, siendo significativos – $p < 0,05$ – los factores coeficiente de ligadura por trama y densidad por trama. Estos dos factores explican el 68,87% de la variabilidad de los resultados ($R^2_{ajustado}=68,87\%$).

Los supuestos de normalidad e independencia de los residuos se cumplen pero la constancia de la varianza es ligeramente dudosa, aunque la contundencia de los resultados difícilmente cambiaría las conclusiones.

TABLA 2

Mejor anova para el ancho

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Estadístico F	Probabilidad
Coeficiente	52,567	3	17,522	35,03	0,000
Densidad	3,706	2	1,853	3,71	0,033
Residual	21,006	42	0,500		
TOTAL	77,280	47			

Se investigó que niveles dentro de cada factor (significativo) resultaron diferentes. En la figura 2 se presenta el gráfico de medias para el coeficiente de ligadura, donde se observa que los intervalos de confianza de los valores 0,5 y 0,75 se solapan, lo que indica que estos niveles son

estadísticamente iguales. El método LSD (diferencia mínima significativa) detecta que el nivel 0,25 proporciona resultados distintos que el 0,5 ó 0,75 y del 1, y el nivel 1 proporciona, también, resultados distintos a los otros.

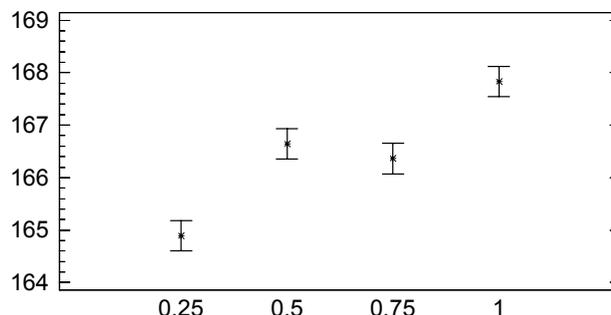


FIGURA 2: Gráfica de medias de los anchos respecto a los coeficientes de ligadura por trama

En la figura 3 se presenta el gráfico de medias para la densidad de trama. Se muestra que los intervalos de confianza de las densidades 10 y 14 se solapan y, por lo tanto, son iguales. El método LSD detecta que los niveles 10 y 14 son distintos del 18.

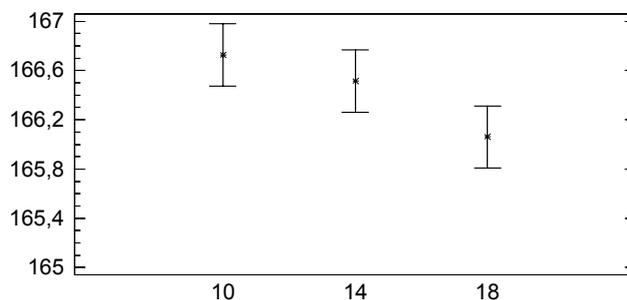


FIGURA 3: Gráfico de medias de los anchos respecto a las densidades por trama

Del análisis de los resultados del ancho se deduce que se presentan anchos distintos cuando se trabaja con coeficientes bajos –menor ancho (más contracción por trama)– ó altos –mayor ancho (menos contracción por trama)– pero cuando los ligamentos se tejen con densidades medias las variaciones no son significativas. Respecto a las densidades, sólo con la densidad máxima se obtiene un tejido con menor ancho respecto a los tejidos con otras densidades.

La explicación técnica del primer resultado, que puede resultar sorprendente a primera vista, radica en que con coeficiente bajo los hilos de urdimbre pueden juntarse con facilidad, mientras que con un coeficiente máximo 1 –tafetán– cada hilo de urdimbre está separado por el hilo de trama dificultando la reunión de aquellos y, por lo tanto, la contracción. La figura 4 ilustra lo antedicho.

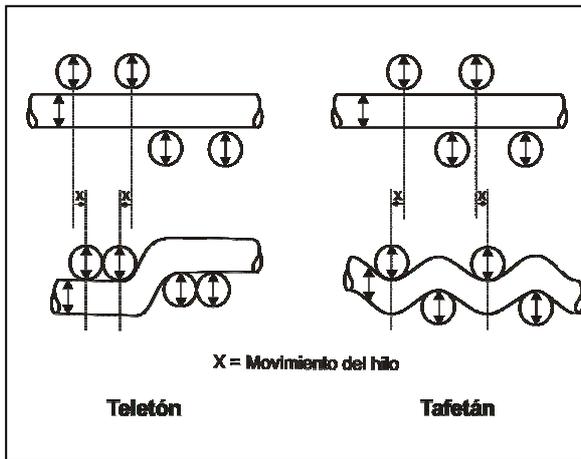


FIGURA 4: Representación de la ondulación de los hilos

La explicación técnica del segundo resultado –efecto de la densidad por trama– es más evidente: con densidad alta se aplica con mayor intensidad la tensión de los hilos de trama sobre los hilos de urdimbre provocando una mayor contracción y, por lo tanto, un menor ancho del tejido.

3.2. Resistencia urdimbre

La figura 5 muestra las resistencias medidas en sentido de los hilos de urdimbre en función de los factores. Se observa que el coeficiente manifiesta una fuerte influencia sobre la resistencia, la densidad un ligero efecto y la tensión ningún efecto.

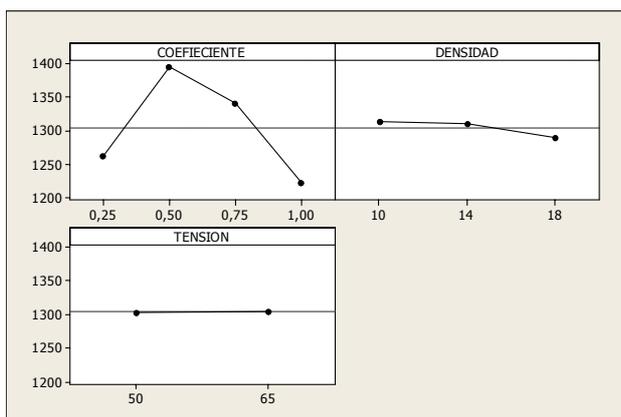


FIGURA 5: Influencia de los factores de estudio sobre la resistencia de urdimbre en cN

En la tabla 3 se expone la mejor tabla del análisis de la varianza de las resistencias, siendo significativos – $p < 0,05$ – las réplicas, el coeficiente de ligadura por trama y la interacción entre el coeficiente y la densidad por trama. El modelo

explica el 89,23% de la variabilidad de los resultados ($R^2_{ajustado}=89,23\%$).

TABLA 3
 Mejor anova para la resistencia de urdimbre

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Estadístico F	Probabilidad
Bloques	14850	1	14850	11,50	0,002
Coeficiente	215269	3	71756	55,59	0,002
Densidad	5064	2	2532	1,96	0,156
Coef.xDend.	282968	6	47161	36,56	0,000
Residual	45183	35	1291		
TOTAL	563333	47			

La interacción entre los factores de estudio se visualiza en la figura 6.

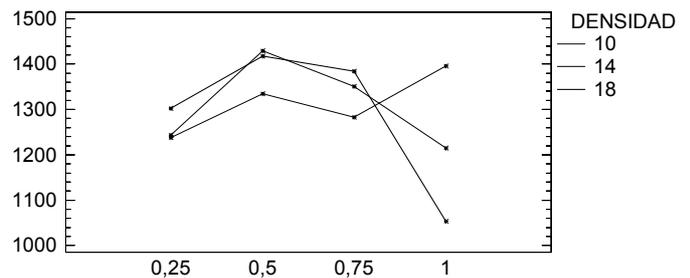


FIGURA 6: Interacción entre el coeficiente y la densidad respecto a la resistencia de urdimbre en cN

Los supuestos de normalidad e independencia de los residuos se cumplen pero la constancia de la varianza es ligeramente dudosa, aunque la contundencia de los resultados difícilmente cambiaría las conclusiones.

El gráfico de medias para el coeficiente de ligadura se muestra en la figura 7, donde se aprecia que los intervalos de confianza de las medias de los cuatro niveles estudiados no se solapan, lo que indican que son significativamente distintos entre si; esta diferencia entre los niveles se corrobora con el método LSD.

El gráfico de medias para la densidad de trama se muestra en la figura 8, y se aprecia que los intervalos de confianza de los niveles se solapan, lo que revela que las diferencias entre los efectos de las densidades no son significativas; el método LSD concluye que los efectos de las densidades 10, 14 y 18 no son significativamente distintos.

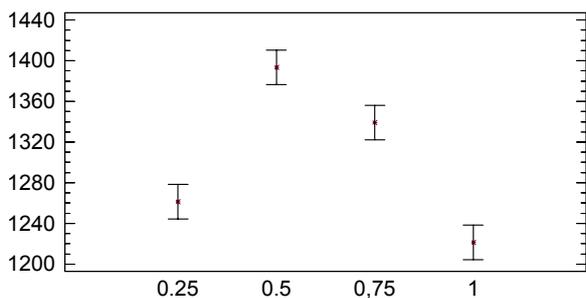


FIGURA 7: Gráfica de medias de las resistencias de urdimbre respecto al coeficiente

producen las densidades superiores, tal como se prueba con el método LSD.

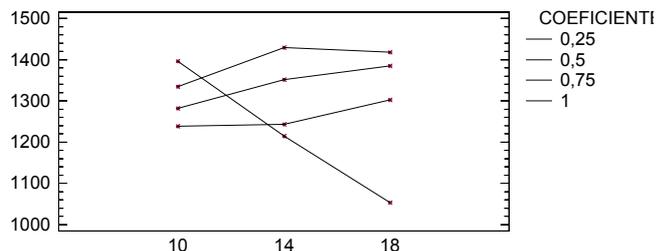


FIGURA 9: Interacción entre la densidad y el coeficiente respecto a las resistencias de urdimbre en cN

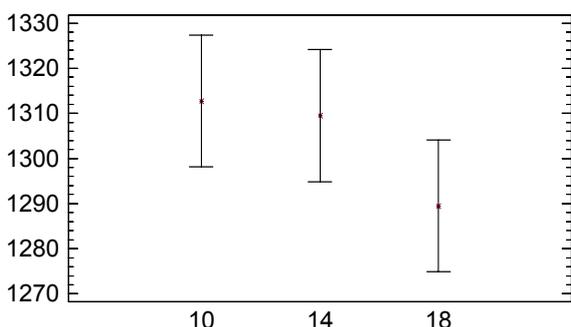


FIGURA 8: Gráfico de medias de las resistencias de urdimbre respecto a las densidades

Si en la figura 6 se invierten los factores se observa – figura 9 – que el coeficiente 1 presenta un comportamiento distinto y opuesto a los otros niveles, es decir, que el efecto sobre las resistencias obtenidas de tejer con densidades más elevadas disminuyen si el ligamento presenta un coeficiente máximo, pero aumentan para las otras densidades. Este hecho justifica que el efecto promedio de aumentar la densidad de trama sea prácticamente nulo, lo que hace que el efecto simple correspondiente no haya resultado significativo ($p=0,156 > 0,005$ en la tabla 3).

Si repetimos el análisis de los datos prescindiendo del nivel 1 (coeficiente de ligadura máximo – y que sólo lo presenta un ligamento, el tafetán) obtenemos la tabla 4, donde se indica que la densidad es significativa - además del coeficiente – y no hay interacción entre los factores. El modelo explica el 73,6% de la variabilidad ($R^2_{ajustada}=73,6$).

Además, en el gráfico de medias de los niveles del coeficiente (figura 10) se aprecia que los intervalos de confianza de 0,25, 0,5 y 0,75 no se solapan, lo que indica que producen efectos distintos, tal como se prueba también con el método LSD. Y en el gráfico de medias de las densidades (figura 11) se observa que los intervalos de los niveles 14 y 18 se solapan, por lo tanto la densidad 10 produce un efecto significativamente distinto de los efectos que

TABLA 4

Mejor anova para la resistencia de urdimbre (sin el coeficiente máximo)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Estadístico F	Probabilidad
Bloques	19577	1	19577	11,88	0,002
Coefficiente	106297	2	53148	32,24	0,000
Densidad	43222	2	21611	13,11	0,000
Residual	49450	30	1648		
TOTAL	218545	35			

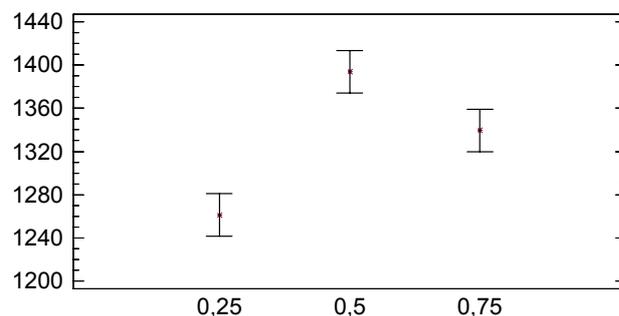


FIGURA 10: Gráfico de medias de las resistencias de urdimbre respecto a los coeficientes de ligadura

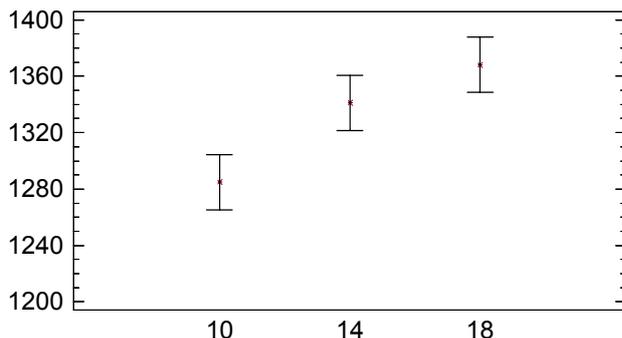


FIGURA 11: Gráfico de medias de las resistencias de urdimbre respecto a las densidades

Por lo tanto, cuando contabilizamos el coeficiente 1, ó consideramos en el análisis el ligamento tafetán, la resistencia máxima se obtiene tejiendo el tafetán con densidad mínima, 10 pasadas por centímetro, y la resistencia mínima con el mismo ligamento con densidad máxima, 18 pasadas por centímetro.

La explicación técnica de este resultado radica en que cuando los factores presentan niveles altos los hilos tienen muchos puntos de inflexión y al aplicar a una tracción a la estructura aparece en cada cambio de dirección de los hilos unas tensiones que dependen, además del esfuerzo aplicado, del coeficiente de fricción entre los hilos y del ángulo de desviación –fórmula de Euler – resultando una fuerza incrementada que me conduce a una carga de rotura menor. Y con densidades bajas los hilos presentan menos ondulaciones y menos tensiones internas.

Si no consideramos en el análisis el ligamento tafetán – coeficiente 1- la resistencia máxima se obtiene tejiendo con los valores medios de los factores, concretamente con un coeficiente de ligadura por trama de 0,5 y una densidad de trama de 14 (aunque también podríamos tomar el 18 puesto que sus efectos no difieren).

La explicación técnica en este caso es más sencilla: es evidente que al aumentar la densidad la resistencia aumenta de forma lineal (en cuanto tendencia), tal como se observa en la figura 10 - aunque los niveles 14 y 18 no difieren estadísticamente - debido a la fricción por contacto entre los hilos de urdimbre y trama. Y con un coeficiente de 0,5 obtenemos el mayor ancho aunque los efectos 0,5 y 0,75 no son diferentes respecto a esta respuesta- con lo cual la densidad de hilos de urdimbre será mayor que con otros coeficientes, presentado, por lo tanto, una mayor resistencia a la tracción.

Respecto a los alargamientos a la rotura – consecuencia de la tracción en sentido de la urdimbre, siempre aumentan con la densidad y el coeficiente, tal como se muestra en la figura 12: cuanto más densidad y coeficiente, mayor es la

ondulación de los hilos y por tanto mayor es la posibilidad de estirarse estructuralmente.

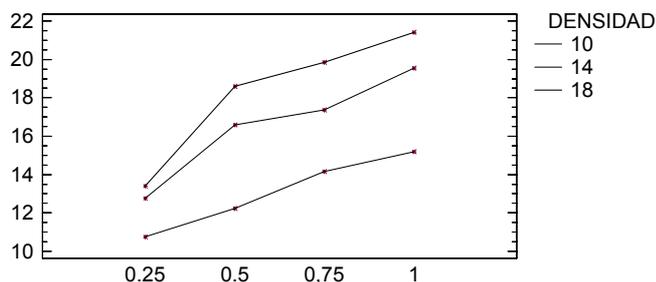


FIGURA 12: Alargamientos a la rotura en mm respecto a los coeficientes y las densidades

3.3. Resistencia trama

La figura 13 muestra las resistencias medidas en sentido de los hilos de trama en función de los factores. Se observa que el coeficiente presenta una ligera influencia sobre la resistencia, y la densidad un potente efecto y la tensión ningún efecto.

En la tabla 5 se expone la mejor tabla del análisis de la varianza de las resistencias, siendo significativos – $p < 0,05$ – las réplicas, el coeficiente de ligadura por trama, la densidad por trama y la interacción entre el coeficiente y la densidad por trama. El modelo explica el 96,63% de la variabilidad de los resultados ($R^2_{ajustado}=96,63\%$).

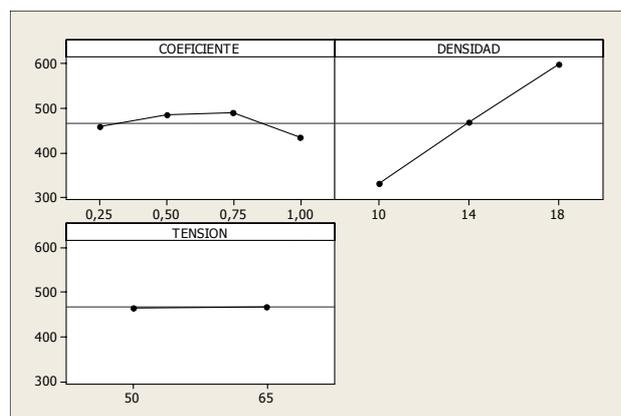


FIGURA 13: Influencia de los factores de estudio sobre la resistencia de trama en cN

TABLA 5

Mejor anova para la resistencia de trama

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Estadístico F	Probabilidad
Bloques	4514	1	4514	9,99	0,003
Coefficiente	25041	3	8347	18,47	0,000
Densidad	572505	2	286252	633,36	0,000
Coef.xDend.	12451	6	2075	4,59	0,002
Residual	15818	35	452		
TOTAL	630329	47			

Los supuestos de normalidad, independencia de los residuos y constancia de la varianza se cumplen perfectamente.

La densidad manifiesta un efecto lineal muy potente respecto a la resistencia de trama, lo cual encaja con la explicación formal: a más hilos mayor resistencia.

El coeficiente de ligadura presenta (en la figura 13) una curvatura en los niveles centrales. Si observamos su gráfico de medias – figura 14 – se aprecia que los intervalos de confianza de los niveles 0,5 y 0,75 se solapan, lo que indica que sus efectos no difieren, y el método LSD concluye que los efectos de los niveles 0,25 y 1 difieren entre si y respecto a los efectos 0,5 y 0,75.

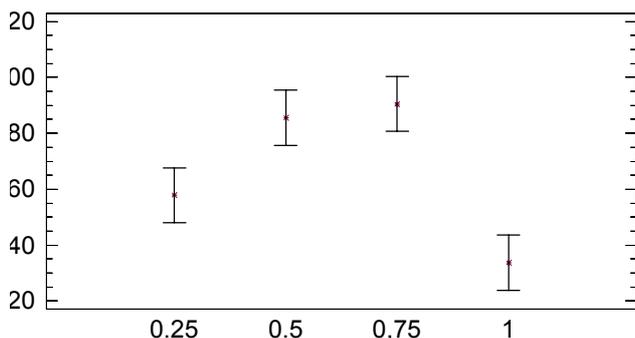


FIGURA 14: Gráfico de medias de la resistencia de trama respecto a los coeficientes

Los coeficientes de ligadura medios proporcionan elevadas resistencias y los coeficientes extremos resistencias bajas. También puede observarse que el comportamiento del coeficiente sobre la resistencia en sentido de la trama (figura 13 y figura 14) es similar al comportamiento sobre la resistencia en sentido de la urdimbre (figura 5 y figura 7) pero con un efecto menor.

De la gráfica de interacción – figura 15 – se observa que la resistencia máxima se consigue con densidad máxima –encaja con la explicación formal– y coeficiente medio –se adapta a los resultados de la resistencia por urdimbre– y la resistencia menor se presenta con estructuras de densidad mínima –encaja con la explicación formal – y coeficiente medio – se adapta a los resultados por urdimbre.

Respecto a los alargamientos –alargamientos a la rotura – consecuencia de la tracción en sentido de la trama, aumenta con la densidad – excepto con el coeficiente máximo– y disminuye con el coeficiente, tal como se muestra en la figura 16, y presenta una tendencia opuesta a la tracción por urdimbre (figura 12). La explicación técnica de este resultado radica en que cuando el coeficiente presentan un nivel alto los hilos de trama tienen muchos puntos de contacto – y la estructura está muy “entrelazada” – y al aplicar una fuerza de tracción aquellos no se pueden mover, ó su movilidad esta limitada, echo que es no ocurre por urdimbre por que la densidad de los hilos de urdimbre es muy superior a la densidad de trama, es decir, la urdimbre impide que la trama se mueva pero la trama no limita el movimiento de la urdimbre bajo un esfuerzo de tracción.

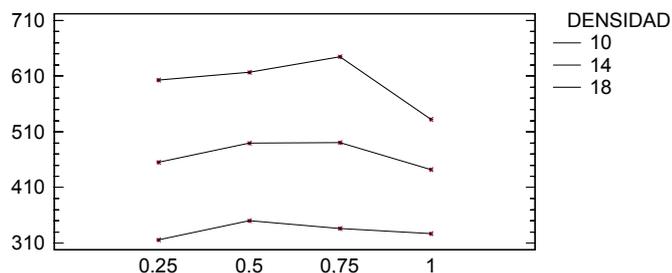


FIGURA 15: Interacción entre coeficiente y densidad sobre la resistencia por trama

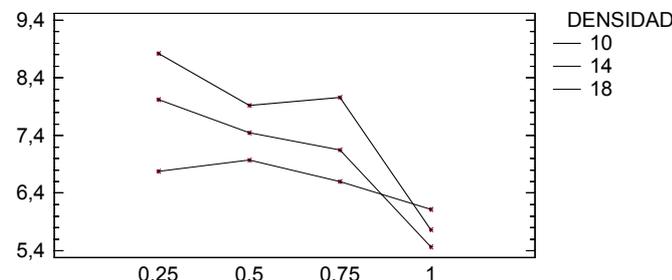


FIGURA 16: Interacción entre coeficiente y densidad respecto al alargamiento por trama

3.4. Optimización de las resistencias

Los modelos que describen las anovas (tabla 1 y tabla 3) de las resistencias son bastante explicativos, y muy especialmente el de la resistencia por trama con un coeficiente de determinación ajustado de 96,63%. Aunque los coeficientes de determinación incluían las repeticiones como factores secundarios –bloques– con efectos significativos. Esta significación puede ser debida a diferentes condiciones de ensayo con el dinamómetro –poco probable– ó a los ligamentos distintos en que se han tejidos cada repetición.

Si observamos la figura 1, se deduce de la gráfica del coeficiente de ligadura que existirá un componente cúbico y de la gráfica de la densidad sólo un componente lineal y en la figura 5, se deduce de la evolución del coeficiente que intervendrá un componente cuadrático y respecto a la densidad uno lineal. Y recordemos que en ambas resistencias son significativas las interacciones entre efectos.

Con dichos factores se ha buscado los coeficientes de regresión que permitan controlar los resultados mediante ecuaciones sencillas. Lo polinomios correspondientes al ajuste de los resultados de las resistencias son los siguientes:

$$Y_1 = 1565,57 - 2040,20K_L - 37,93D_L + 230,18K_L D_L + 2248,94K^2 - 232,18K^2 D_L$$

$$R^2_{ajustada} = 79,47\%$$

$$Y_2 = -179,86 + 539,30K_L + 39,85D_L - 10,27K_L D_L - 337,96K^2$$

$$R^2_{ajustada} = 95,61\%$$

Siendo:

Y_1 : Resistencia en el sentido de la urdimbre en k.o.

Y_2 : Resistencia en el sentido de la trama en cN.

K_L : Componente lineal del coeficiente de ligadura por trama.

D_L : Componente lineal de la densidad por trama en pasadas por cm.

K^2 : Componente cuadrático del coeficiente de ligadura por trama.

En las figuras 17 y 18 se representan las gráficas de contorno de ambas superficies de respuesta. El punto óptimo simultáneo corresponde –observando las gráficas– a una región situada entre los coeficientes 0,5 y 0,63 y la densidad máxima 18.

Aplicando el método de la función de deseabilidad dentro de los intervalos estudiados y bajo el criterio de maximizar simultáneamente las resistencias dentro del rango de los resultados obtenidos, que son:

$$1050,7 \leq \text{Resistencia urdimbre} \leq 1485,5$$

$$281,7 \leq \text{Resistencia trama} \leq 670,5$$

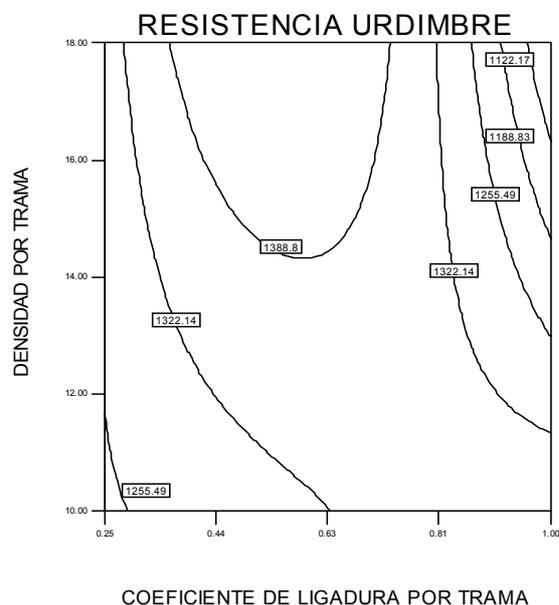


FIGURA 17: Gráfica de contorno de la resistencia en sentido urdimbre

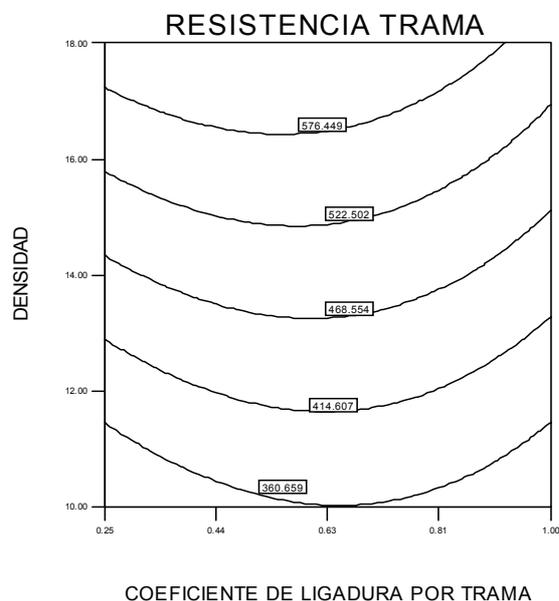


FIGURA 18: Gráfica de contorno de la resistencia en sentido trama

Se obtiene una resistencia máxima por urdimbre de 1455,48 cN y una resistencia máxima por trama de 630,35 cN con los siguientes valores de los factores:

- Coeficiente de ligadura por trama: 0,54
- Densidad por trama: 18
- Tensión de los hilos de urdimbre: 57,84

Aunque la tensión no interviene –no es un efecto significativo– en el resultado de las resistencias máximas.

4. CONCLUSIONES

En las condiciones propias de este estudio y con los niveles de los factores fijos se ha llegado a las siguientes conclusiones:

4.1. La tensión de los hilos de urdimbre no produce ningún efecto significativo en el ancho y las resistencias del tejido.

4.2. El coeficiente de ligadura por trama máximo produce la contracción menor y, por lo tanto, el ancho de tejido mayor.

4.3. El coeficiente de ligadura por trama menor produce la contracción mayor y, por lo tanto, el ancho de tejido menor.

4.4. La densidad por trama elevada produce una contracción mayor y, por lo tanto, el ancho de tejido menor.

4.5. Los coeficientes de ligadura por trama medios producen tejidos con resistencias en el sentido de la urdimbre y trama elevadas.

4.6. El coeficiente de ligadura por trama máximo produce el tejido con resistencia en el sentido de la urdimbre y trama menor.

4.7. Con un coeficiente de ligadura máximo, a medida que aumenta la densidad, la resistencia en el sentido de la urdimbre disminuye linealmente.

4.8. Con un coeficiente de ligadura por trama distinto del máximo, a medida que aumenta la densidad, la resistencia en el sentido de la urdimbre aumenta.

4.9. A medida que aumenta el coeficiente de ligadura por trama la resistencia en el sentido de la trama aumenta.

4.10. Con un coeficiente de ligadura por trama medio y la densidad máxima se consigue optimizar simultáneamente las resistencias del tejido.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Marta Fabra Regalado por su ayuda en la parte experimental de este trabajo.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Basset, R.J., Postle R. and Pan N. Experimental methods for measuring fabric mechanical properties: a review and análisis. *Textile Res.J.* 69, 866 (1999).
2. Galuszynski S. Fabric tightness: a coefficient to indicate fabric structure, *J. Text. Institute*, 72, T44-49 (1981).
3. Love L. Graphical relationships in cloth geometry for plain, twill and saten weaves. *Textile Res. J.*, 24 1073-1083 (1954).
4. Seyam A. and El-Shikh A. Mechanical of woven fabric Part.III, *Textile Res. J.*, 63 371 (1993).
5. Seyam A. and El-Shikh A. Mechanical of woven fabric Part.IV, *Textile Res. J.*, 64 653 (1994).
6. Wu J. and Pan N. Grab and strip tensile strengths for woven fabrics: an experimental verification. *Textile res.* 75(11), 789-796 (2005).